

## Métrologie

# Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres

## Partie 1 : Procédure d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance

E : Metrology — Calibration and verification procedure for thermometers —  
Part 1: Calibration and verification procedure for probes and resistance  
thermometers

D : Metrologie — Eichnungs- und Kontrollverfahren für thermometer —  
Teil 1: Eichnungs- und Kontrollverfahren für Sonden und  
Widerstandsthermometer

---

### **Fascicule de documentation**

publié par AFNOR en octobre 2002.

---

### **Correspondance**

À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens ou internationaux traitant du même sujet.

---

### **Analyse**

Le présent document complète la norme NF X 07-010 «Métrologie — La fonction métrologie dans l'entreprise». Il constitue un guide à l'usage de ceux qui doivent rédiger les procédures d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance.

Le présent document applique à ce genre d'instruments les recommandations générales données dans le fascicule de documentation X 07-016 «Modalités pratiques pour l'établissement des procédures d'étalonnage et de vérification des moyens de mesure», dans la norme NF ENV 13005 «Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure» et dans le fascicule de documentation FD X 07-021 «Aide à la démarche pour l'estimation et l'utilisation de l'incertitude des mesures et des résultats d'essais».

---

### **Descripteurs**

**Thésaurus International Technique** : métrologie, instrument de mesurage, instrument de mesure de température, thermomètre, sonde, mesurage de température, étalonnage, contrôle métrologique, mode opératoire, exactitude, incertitude, calcul.

---

### **Modifications**

---

### **Corrections**



## Membres de la commission de normalisation

Président : M PRIEL

Secrétariat : M CLOAREC — AFNOR

M	ALLIOUZ	ESSO SAF
M	ARRIAT	BUREAU VERITAS
MME	BAVELARD	CERIB
M	BONNIER	CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS (CNAM)
M	BRIGODIOT	EADS LAUNCH VEHICLES
MME	BUIL	SOFIMAE SA
M	BUSUTTIL	GAZ DE FRANCE — DPT CEOS
M	CHAILLIE	PCA-PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
MME	CHEVALLIER	ECM CONSULTANTS
M	COLLAY	ECOLE DES MINES DE ST ETIENNE
M	CORDEBOIS	DASSAULT AVIATION
M	CRETINON	CETIAT
M	DABERT	THOMSON CSF SERVICES INDUSTRIE
M	DAUBENFELD	PCA-PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
M	DELAMASURE	UNION DE NORMALISATION DE LA MECANIQUE (UNM)
M	DEPINOY	CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE BATIMENT (CSTB)
M	DESVIGNES	SNCF
M	ERARD	BUREAU NATIONAL DE METROLOGIE (BNM)
M	FOURCADE	CEA CESTA
M	FOURMY	ROHDE ET SCHWARZ FRANCE
MME	FRABOULET	VIVENDI-GENERALE DES EAUX
M	GABET	SYNDICAT DE LA MESURE
M	GAUTIER	AFNOR
M	GELY	SOPEMEA SA
M	GUYOT	BUREAU DE NORMALISATION DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE (BNAE)
M	HITIE	GEMPLUS SA
M	KRYNICKI	AGILENT TECHNOLOGIES FRANCE
MME	LANDA-POTEAU	INERIS
M	LARQUIER	BEA METROLOGIE
MME	LENAN-MELAERTS	E2M
M	LEVEL	SANOFI SYNTHELABO RECHERCHE
M	MARDELLE	THALES SYSTEMES AEROPORTES
M	MARSCHAL	LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS (LNE)
M	MILLERET	SOMELEC SA
M	MONAT	CTIF
MME	MORIN	AFNOR
M	NAUDOT	ALCATEL CIT
M	NIMANBEG	RENAULT
M	NORGEUX	SNCF
MME	NOTIS	AFNOR
M	ODRU	UNPP
M	PENIN	CAST SA INSA
M	PERRUCHET	UTAC
M	POU	DELTA MU CONSEIL
M	PRIEL	LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS (LNE)
M	PRIN	MINISTERE DE LA DEFENSE DGA DCE CELAR
M	QUILES	SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SA
M	RAMBAUD	TEKTRONIX SA
MME	RENAOT	CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET DES METIERS (CNAM)
MME	RENARD	MINISTERE DE L'INDUSTRIE — DARPMI
M	REPOSEUR	COMITE FRANÇAIS D'ACCREDITATION (COFRAC)
M	ROBIN	AFNOR
M	SALIN	CEA DAM VALDUC
M	SENELAER	ECOLE SUPERIEURE DE METROLOGIE
M	SERVENT	UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE (UTE)
M	SOUCEK	AOIP
M	SOUQUET	CETIM
M	STAROPOLI	GAZ DE FRANCE
MME	THOMANN	AFNOR
M	TURPAIN	COFIP

**Groupe de travail «Procédure d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance»**

Animateur : MME RENAOT — BNM-INM/CNAM

M	ALLIOUZ	ESSO SAF
M	BOREL	CETIAT
M	DAVID	E2M
M	DEVIN	BNM-LNE
M	MARIN-PACHE	RHONE POULENC RORER
M	PAREAU	APAVE PARISIENNE
MME	RENAOT	BNM-INM/CNAM
M	SOUCEK	AOIP

## Sommaire

	Page
<b>Avant-propos</b> .....	5
<b>1 Domaine d'application</b> .....	5
1.1 Étalonnage .....	5
1.2 Vérification .....	5
<b>2 Références normatives</b> .....	6
<b>3 Termes et définitions</b> .....	7
<b>4 Méthode</b> .....	7
<b>5 Étalonnage d'une chaîne de mesure</b> .....	8
5.1 Recommandations .....	8
5.1.1 Exactitude de mesure courante .....	8
5.1.2 Meilleure exactitude de mesure .....	9
5.2 Mode opératoire .....	10
5.2.1 Exactitude de mesure courante .....	10
5.2.2 Meilleure exactitude de mesure .....	12
5.3 Évaluation de l'incertitude d'étalonnage .....	12
5.4 Présentation des résultats .....	13
5.4.1 Feuille de mesure .....	13
5.4.2 Certificat d'étalonnage .....	14
<b>6 Étalonnage d'une sonde à résistance seule</b> .....	14
6.1 Recommandations .....	14
6.1.1 Exactitude de mesure courante .....	14
6.1.2 Meilleure exactitude de mesure .....	15
6.2 Mode opératoire — Exactitude de mesure courante et meilleure exactitude de mesure .....	16
6.3 Évaluation de l'incertitude d'étalonnage .....	16
6.4 Présentation des résultats .....	17
6.4.1 Feuille de mesure .....	17
6.4.2 Certificat d'étalonnage .....	17
<b>7 Vérification</b> .....	17
7.1 Vérification d'une chaîne de mesure ou d'une sonde seule .....	17
7.1.1 Programme de vérification .....	17
7.1.2 Présentation des résultats .....	18
<b>Bibliographie</b> .....	19

## Avant-propos

Ce fascicule de documentation a été élaboré par le Groupe de Travail «Procédure d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance» de la commission de normalisation «Métrologie dans l'entreprise».

Il fait partie d'un ensemble de fascicules de documentation traitant de l'estimation des incertitudes sur les mesures de température et des procédures d'étalonnage et de vérification des différents types d'instruments de mesure de température, à savoir :

- FD X 07-028:2002, Métrologie — Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres — Estimation des incertitudes sur les mesures de température ;
- FD X 07-029-2, Métrologie — Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres — Partie 2 : Procédure d'étalonnage et de vérification des thermocouples (indice de classement : X 07-029-2 <sup>1)</sup>) ;
- FD X 07-029-3, Métrologie — Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres — Partie 3 : Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres à dilatation de liquide (indice de classement : X 07-029-3 <sup>1)</sup>).

## 1 Domaine d'application

Le présent fascicule de documentation a pour objet de définir des méthodes pratiques et reproductibles d'étalonnage et de vérification des sondes et des thermomètres à résistance au sens de l'indication donnée au début de l'article 5.

Il s'adresse aux personnes de la fonction métrologique ayant les compétences appropriées.

### 1.1 Étalonnage

Le Tableau 1 ci-dessous définit le domaine d'application du présent document. Il concerne les sondes à résistance et tient compte des connaissances techniques actuelles. Il propose, à titre d'exemple, une décomposition réaliste entre exactitudes de mesure courantes et exactitudes de mesure exigeant l'observation de précautions particulières (désignées dans ce document par les termes «meilleures exactitudes de mesure»).

**Tableau 1 — Domaine d'application**

Domaine de température	Exactitude de mesure courante	Meilleure exactitude de mesure
– 200 °C à 280 °C	> ( $\pm 0,3$ °C)	$\leq (\pm 0,3$ °C)
280 °C à 500 °C	> ( $\pm 0,5$ °C)	$\leq (\pm 0,5$ °C)

NOTE Dans tous les cas les conditions spécifiées de l'étalonnage doivent correspondre au mieux aux conditions d'utilisation de l'instrument.

### 1.2 Vérification

Beaucoup d'appareils de mesure actuellement sur le marché regroupent de multiples fonctions (mesure de température, mesure de tension, mesure de résistance, etc.). Dans le présent document, on se limite aux vérifications effectuées par rapport à des spécifications concernant les mesures de température.

Dans le cadre des mesures de température, une opération de vérification fait nécessairement suite à une opération d'étalonnage. Afin d'émettre des constats de vérification pertinents il est indispensable d'établir pour chaque fonction métrologique spécifique un programme des vérifications minimales. Ce programme de vérifications peut reposer sur un texte reconnu (norme, texte réglementaire) ou sur une prescription spécifique. Dans le cas contraire, l'entreprise d'étalonnage pourra se reporter au présent document pour établir ses programmes de vérification relatifs aux instruments de mesure de la température.

---

1) En cours de publication.

Les recommandations de ce document peuvent s'appliquer aux étalonnages effectués dans des lieux où toutes les conditions d'environnement ne sont pas maîtrisées. Dans ce cas, elles doivent impérativement être complétées par des études particulières portant sur l'influence :

- des conditions d'environnement (paramètres ayant une influence sur les bilans d'incertitude, tels que : température, humidité, pression atmosphérique, etc.) ;
- de tous les paramètres susceptibles de perturber les mesures (réseau électrique, compatibilité électromagnétique, vibrations, etc.).

## 2 Références normatives

Le présent document comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à ce document que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

NF ENV 13005:1999, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

NF X 07-001:1994, *Norme fondamentales — Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de Métrologie*.

NF X 07-010:2001, *Métrologie — La fonction métrologie dans l'entreprise*.

X 07-011:1994, *Métrologie — Essais — Métrologie dans l'entreprise — Constat de vérification des moyens de mesure*.

FD X 07-012:1995, *Métrologie — Métrologie dans l'entreprise — Certificat d'étalonnage des moyens de mesure*.

FD X 07-013:1996, *Métrologie — Métrologie dans l'entreprise — Critères de choix entre vérification et étalonnage, utilisation et conservation des résultats de mesure*.

X 07-015:1993, *Métrologie — Essais — Métrologie dans l'entreprise — Raccordement des résultats de mesure aux étalons*.

NF X 07-016:1993, *Métrologie — Essais — Métrologie dans l'entreprise — Modalités pratiques pour l'établissement des procédures d'étalonnage et de vérification des moyens de mesure*.

FD X 07-019:2000, *Métrologie — Relations clients/fournisseurs en métrologie*.

FD X 07-025, *Métrologie — Programmes techniques de vérification des équipements de mesure*<sup>2)</sup>.

FD X 07-028:2001, *Métrologie — Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres — Estimation des incertitudes sur les mesures de température*.

NF EN 60751:1996, *Capteurs industriels à résistance thermométrique de platine* (indice de classement : C 42-330, reproduit la norme CEI 60751 et son amendement A2).

---

2) En cours de préparation.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **point de glace fondante**

température d'équilibre entre les phases solide et liquide de l'eau pure saturée d'air sous une pression de 101 325 Pa

NOTE La technique permettant de réaliser correctement un point de glace est développée dans de nombreux documents dont la Monographie BNM n° 14.

#### 3.2

##### **résistance d'isolement**

résistance en ohms présente entre l'élément sensible du capteur (fil de platine bobiné pour les sondes à résistance par exemple) et la gaine de protection

#### 3.3

##### **volume isotherme**

volume présentant une température constante

#### 3.4

##### **thermistance**

semi-conducteur qui présente une variation non linéaire de sa résistance électrique en fonction de la température

#### 3.5

##### **homogénéité thermique**

différence obtenue en régime établi entre les valeurs extrêmes de température dans le volume de travail

#### 3.6

##### **profil thermique**

évolution de la température le long de la sonde

#### 3.7

##### **bloc d'égalesation thermique**

bloc utilisé dans une enceinte thermique pour améliorer localement la stabilité et l'homogénéité thermique

#### 3.8

##### **flux thermique**

transfert d'énergie d'un système vers un autre

Il est défini par  $\Phi = E(S, \Delta t)/t$ .

Avec  $E(S, \Delta t)$  : quantité d'énergie échangée à travers une surface  $S$  pendant un laps de temps  $\Delta t$ .

$\Delta t$  : durée de l'échange.

NOTE Dans le présent document, le terme four est appliqué à des instruments générant des températures qui peuvent être positives ou négatives.

### 4 Méthode

L'étalonnage consiste à comparer les indications données par un instrument de mesure aux valeurs fournies par un étalon placé dans le même milieu (bain, four ou enceinte thermostatique).

## 5 Étalonnage d'une chaîne de mesure

Dans le cadre de ce document, une chaîne de mesure de température (appelée quelquefois chaîne thermométrique) est un thermomètre qui comprend une sonde à résistance, associée ou non à un transmetteur ou à un convertisseur, et connectée à un indicateur.

### 5.1 Recommandations

#### 5.1.1 Exactitude de mesure courante

##### 5.1.1.1 *Recommandations relatives à l'étalon*

Tout thermomètre dont l'étalonnage est traçable à des étalons nationaux peut être utilisé comme étalon. Son choix dépend de différents facteurs tels que le domaine de température, l'incertitude finale recherchée, les conditions spécifiques de l'étalonnage, etc.

On doit s'assurer que l'estimation des incertitudes liées aux composantes suivantes est compatible avec l'incertitude finale recherchée :

- incertitude d'étalonnage ;
- dérive entre deux étalonnages ;
- incertitude liée à la fidélité ;
- incertitude liée aux conditions d'utilisation ;
- incertitude liée à la formule d'interpolation ;
- incertitude liée aux conditions d'environnement ;
- résolution ;
- etc.

##### 5.1.1.2 *Recommandations relatives au milieu de comparaison*

Le milieu de comparaison doit être caractérisé. Les paramètres suivants doivent être définis :

- stabilité de la température ;
- homogénéité en température dans tout l'espace susceptible d'être utilisé lors d'un étalonnage.

À titre indicatif et de manière non exhaustive, les différents dispositifs pouvant être utilisés sont regroupés dans les catégories suivantes :

- bains liquides ;
- bains à lit fluidisé ;
- fours à résistance électrique ;
- fours à caloducs ;
- enceinte thermostatique.

Pour une gamme donnée de température et dans la mesure où la technologie le permet, l'entreprise a toujours intérêt à préférer un bain liquide à circulation à un four classique.

Au cours du temps les caractéristiques thermiques d'un bain ou d'un four sont susceptibles d'évoluer. Par exemple la viscosité du fluide utilisé peut se dégrader lors des cyclages thermiques. L'homogénéité du milieu de comparaison fait donc l'objet d'un contrôle périodique ; l'opérateur doit s'assurer qu'elle reste compatible avec les spécifications qui ont permis d'établir le budget initial des causes d'incertitude.



Le Tableau 2 suivant propose, pour différents domaines de température, les milieux de comparaison les mieux adaptés compte tenu des technologies actuelles.

**Tableau 2 — Milieux de comparaison par domaine de température**

Domaine de température	Milieu et dispositifs de comparaison	
– 160 °C à 0 °C – 70 °C à 0 °C – 50 °C à 20 °C 2 °C à 95 °C – 60 °C à 280 °C	Iso-pentane Alcool éthylique Eau + Éthylène glycol Eau Huile silicone	Bain liquide à circulation
200 °C à 550 °C	Sel	Bain de sel de nitrite
200 °C à 700 °C	Alumine	Bain à lit fluidisé
– 170 °C à –120 °C – 40 °C à 60 °C 30 °C à 140 °C 130 °C à 300 °C 400 °C à 700 °C 500 °C à 800 °C 600 °C à 970 °C	Méthane Ammoniaque Eau Fluides organiques Césium Potassium Sodium	Fours à caloducs
– 40 °C à + 200 °C	Air	Enceinte climatique <sup>a)</sup>
200 °C à 1 000 °C	Air	Fours à résistance électrique
<i>a) Dispositifs à réserver de préférence pour l'étalonnage des instruments non immergeables.</i>		

Les thermomètres ne doivent pas être insérés directement dans les bains de sel et les bains à lit fluidisé. Ils doivent être protégés de la corrosion par une gaine métallique.

#### Conditions de sécurité :

L'attention de l'utilisateur est attirée sur le fait que l'utilisation d'un bain de sel doit s'accompagner de mesures de sécurité adaptées. En particulier, la limite haute d'utilisation du bain doit être établie en fonction des caractéristiques du sel fournies par le constructeur.

Pour les bains liquides, il faut impérativement vérifier que les caractéristiques du fluide employé sont compatibles avec la gamme de température dans laquelle on envisage son utilisation.

### 5.1.2 Meilleure exactitude de mesure

#### 5.1.2.1 Recommandations relatives à l'étalon

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 5.1.1.1. Elles doivent être complétées par un contrôle régulier de la stabilité de la sonde de référence entre deux raccordements externes. Pour cela l'opérateur peut :

- utiliser un point fixe de température (point de glace fondante par exemple) ;
- effectuer une comparaison directe entre deux étalons de référence ayant la même résolution et possédant la même incertitude de raccordement aux étalons nationaux.

La périodicité du contrôle de la stabilité de l'étalon est fixée en fonction des conditions d'utilisation de cet instrument (fréquence d'utilisation, domaine de température, condition d'environnement, etc.).

### 5.1.2.2 *Recommandations relatives au milieu de comparaison*

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 5.1.1.2, toutefois dans le cas où l'exactitude de mesure recherchée est fine il est indispensable d'utiliser un milieu de comparaison présentant d'excellentes caractéristiques thermiques (stabilité, homogénéité de la température, etc.). Dans ce cas, les bains liquides à circulation, les bains à lit fluidisés et les fours à résistance électrique doivent être équipés d'un bloc d'égalisation. Ce bloc est réalisé dans un matériau choisi en fonction de ses qualités thermiques et du domaine d'utilisation. Dans le cas des milieux à circulation, il faudra s'assurer que le positionnement et la géométrie du bloc d'égalisation n'est pas à l'origine de turbulences conduisant à une dégradation de l'écoulement de ce milieu.

Pour des incertitudes recherchées inférieures à 0,1 °C, il faut s'assurer que le bloc d'égalisation n'est pas directement soumis à des perturbations thermiques provenant par exemple d'une résistance chauffante ou d'un bloc de réfrigération.

Dans le cas des fours à résistances électriques, il est possible d'obtenir une meilleure uniformité en température axiale en utilisant des fours multi-enroulements. Dans ces fours chaque résistance chauffante est alimentée de manière indépendante, les pertes aux extrémités du four peuvent être ainsi partiellement compensées.

Les diamètres des puits dans lesquels sont placés les capteurs étalon et à étalonner doivent être adaptés aux dimensions de ces instruments. Les deux capteurs peuvent également être positionnés dans le même puits à condition qu'ils soient en contact étroit. Ce point est particulièrement important lorsque le milieu de comparaison est un four.

## 5.2 Mode opératoire

### 5.2.1 Exactitude de mesure courante

Avant l'étalonnage certaines opérations préliminaires sur la chaîne de mesure de température sont réalisées :

- examen visuel ;
- nettoyage du capteur, cette opération doit être effectuée à chaque changement du milieu de comparaison ;
- respect du temps de préchauffage nécessaire aux instruments électroniques.

Au minimum, les caractéristiques suivantes doivent être prises en compte ou définies dans les conditions spécifiées :

- température ambiante ;
- tension d'alimentation réseau.

L'étalonnage est effectué à un ou plusieurs points de température en fonction des conditions d'utilisation. Le nombre de points d'étalonnage est fixé, soit par l'utilisateur, soit par le laboratoire d'étalonnage après accord de l'utilisateur.

Les conditions d'étalonnage doivent être telles que les recommandations précisées dans les paragraphes précédents sont respectées. Par exemple, la fréquence d'acquisition des mesures doit être compatible avec la composante d'incertitude liée à la stabilité du milieu de comparaison.

Dans le cas où le capteur peut être connecté sur différentes bornes d'entrées de l'indicateur ; les bornes utilisées lors de l'étalonnage doivent être précisées.

Il faut toujours veiller à ce que les conditions d'étalonnage s'approchent au mieux des conditions d'utilisation de la chaîne à étalonner. Les points suivants sont à considérer : profondeur d'immersion du capteur dans le milieu, nature de ce milieu (eau, huile, air, etc.).

Afin que l'opérateur réalise les étalonnages d'une manière reproductible, un mode opératoire doit être établi.

Ce mode opératoire comporte par exemple les indications suivantes :

- schéma de câblage ;
- réglage des points de consigne du bain ;
- courant de mesure traversant l'élément sensible de la sonde étalon ;
- profondeur d'immersion ;
- vitesse d'acquisition des mesures ;
- temps de stabilisation ;
- traitement des données brutes ;
- estimation des causes d'incertitudes supplémentaires ;
- borne d'entrée de l'indicateur utilisée.

Afin d'aider l'opérateur à établir le mode opératoire, quelques points particuliers sont développés ci-dessous.

#### a) Profondeur d'immersion

Dans le cas de l'utilisation d'un four, qu'il soit de laboratoire ou portable, il est indispensable d'étudier le profil thermique dans les puits où sont introduits les capteurs. Le profil thermique doit être étudié sur une longueur compatible avec la longueur des sondes à étalonner afin de pouvoir évaluer l'influence de cette source d'incertitude.

La profondeur d'immersion doit être adaptée à la longueur de l'élément sensible et aux caractéristiques thermiques du milieu de comparaison. À titre indicatif la longueur de l'élément sensible peut aller de quelques millimètres à plusieurs centimètres.

Pour s'assurer que la profondeur d'immersion est suffisante, l'opérateur doit modifier cette dernière d'une longueur au moins égale à celle de l'élément sensible et s'assurer que la variation de lecture entraînée reste nettement inférieure à l'incertitude finale recherchée.

La longueur des éléments sensibles du capteur de référence et du capteur à étalonner peuvent différer notablement. Cette situation peut entraîner des erreurs importantes, en particulier lorsque l'étalonnage est réalisé dans un four où les conditions d'étalonnage sont généralement plus défavorables que dans un bain liquide à circulation. Dans la mesure où on peut déterminer la dimension des éléments sensibles, on place le milieu géométrique de ces derniers sur le même plan.

#### b) Perturbations thermiques liées au capteur à étalonner

Contrairement à la majorité des instruments à étalonner, un thermomètre n'est pas un instrument discret, sa présence modifie la répartition des températures du milieu dans lequel il est placé. Les caractéristiques thermiques du milieu de comparaison peuvent également dépendre du nombre de capteurs présents. En conséquence, l'opérateur doit s'assurer que les conditions au moment de l'étalonnage correspondent bien aux conditions dans lesquelles le milieu a été caractérisé.

#### c) Temps de stabilisation

L'opérateur en fonction des caractéristiques du milieu de comparaison et des capteurs doit se fixer un temps de stabilisation minimum. Au bout de ce temps l'opérateur s'assure que les variations locales de la température au niveau des capteurs sont inférieures au critère de stabilité recherchée.

#### d) Phénomène de condensation

À des températures inférieures à la température ambiante, il peut apparaître un phénomène de condensation pour les capteurs dont l'étanchéité n'est pas suffisante. Ce phénomène peut être à l'origine d'erreur. Il peut être mis en évidence en soumettant le capteur à un cyclage thermique permettant l'évaporation de l'eau ou en mesurant la résistance d'isolement.

### 5.2.2 Meilleure exactitude de mesure

Les remarques du paragraphe 5.2.1 restent valables. Toutefois, la recherche d'une meilleure exactitude de mesure impose des contraintes supplémentaires. À chaque température d'étalonnage, plusieurs acquisitions sur l'étalon et sur la chaîne en étalonnage doivent être effectuées sur une durée compatible avec la dynamique du système (temps de réponse des capteurs, régulation du bain, etc.). Si les mesures ne peuvent pas être effectuées simultanément, chaque série de mesures sur la chaîne en étalonnage doit être encadrée par une série de mesures sur l'étalon.

La fidélité des résultats obtenus avec la sonde intégrée dans la chaîne en étalonnage doit être testée au moins une fois durant le cycle de mesures à la température la plus extrême. Pour effectuer cette opération, le capteur est retiré du milieu de comparaison, amené à la température ambiante puis replongé dans ce milieu. Dans le cas de températures d'étalonnage élevées et afin d'éviter les chocs thermiques, le retrait et l'introduction de la sonde doivent être effectués lentement. Dans le cas de température d'étalonnage inférieure à la température ambiante, il faut s'assurer que la sonde est sèche (phénomène de condensation) avant de l'introduire de nouveau dans le bain. Si la technologie de la sonde ne permet pas de la retirer du milieu de comparaison, un cyclage de la température du bain dans un domaine de température compatible avec la plage d'étalonnage peut être mis en œuvre. Quelle que soit la méthode appliquée, les écarts observés lors des tests sont pris en compte dans le calcul de l'incertitude finale.

Dans la mesure où le domaine de température couvert par la chaîne en étalonnage le permet, une mesure à une température égale ou proche de 0 °C doit toujours être effectuée au début et à la fin de l'étalonnage (au minimum). Si le programme d'étalonnage n'inclut pas la température de 0 °C, cette opération doit être faite à une température caractéristique prévue dans ce programme.

## 5.3 Évaluation de l'incertitude d'étalonnage

Les différentes causes d'incertitude à prendre en compte sont listées ci-dessous de manière non exhaustive. Des informations plus détaillées sont fournies dans le fascicule de documentation FD X 07-028.

#### a) Étalon :

- incertitude d'étalonnage ;
- dérive entre deux étalonnages ;
- incertitude liée à la fidélité ;
- incertitude liée aux conditions d'utilisation ;
- incertitude liée à la formule d'interpolation ;
- incertitude liée aux conditions d'environnement ;
- résolution ;
- etc.

NOTE À défaut de données expérimentales suffisantes, les composantes liées à la dérive et à la résolution peuvent être déterminées à partir de données du constructeur.

#### b) Incertitude d'origine thermique :

- incertitude liée à l'homogénéité et à la stabilité en température du milieu de comparaison ;
- flux thermiques parasites affectant les capteurs en présence.

#### c) Chaîne de mesure de température à étalonner :

- résolution ;
- câblage (dans le cas d'un étalonnage en «deux fils» par exemple) ;
- stabilité de la valeur affichée ;
- reproductibilité de la valeur affichée.

On peut faire l'hypothèse que la plupart des sources d'incertitude sont non corrélées et suivent une loi de probabilité rectangulaire. Dans ce cas, la valeur de l'incertitude-type correspondante est obtenue en divisant l'intervalle compris entre les limites inférieure et supérieure par  $2\sqrt{3}$ .

### Cas particuliers :

Sauf information contraire, on peut considérer que les incertitudes d'étalonnage élargies figurant sur les certificats d'étalonnage des étalons correspondent à l'incertitude-type composée relative à cet étalonnage multipliée par un facteur d'élargissement  $k$  égal à 2.

L'incertitude-type concernant un appareil de mesure peut être déterminée à partir de spécifications fournies par le constructeur. Dans le cas où aucun facteur d'élargissement n'est précisé par le constructeur, l'incertitude-type sera égale à la spécification.

Les différentes composantes de l'incertitude doivent être sommées quadratiquement :

$$u_c = \sqrt{\sum (u_i^2)}$$

avec :

$u_c$  l'incertitude-type composée ;

$u_i$  l'incertitude-type relative à chaque source d'incertitude.

On passe de l'incertitude-type composée à l'incertitude-type élargie en utilisant un facteur d'élargissement  $k$  généralement pris égal à 2 (voir la norme NF ENV 13005).

$$U = k \cdot u_c$$

## 5.4 Présentation des résultats

### 5.4.1 Feuille de mesure

Une feuille de mesure est un document à usage interne, archivé pour assurer la traçabilité des mesures. La feuille de mesure contient au moins les informations suivantes :

- identification permettant de remonter au demandeur ;
- identification des éléments composant l'instrument à étalonner (constructeur, type, numéro de série, etc.) pour le capteur et pour l'indicateur ;
- date des mesures ;
- identification de l'opérateur ;
- référence de la procédure utilisée ;
- identification des étalons utilisés ;
- identification des générateurs de température utilisés ;
- immersion des capteurs ;
- conditions d'environnement (température du local au moment des mesures, si nécessaire humidité, etc.) ;
- pagination ;
- résultats brut de mesure ;
- configuration de l'instrument lors de l'étalonnage. Par exemple : bornes d'entrée de l'indicateur utilisée, utilisation d'une gaine de protection autour du capteur, etc.

### 5.4.2 Certificat d'étalonnage

Le certificat d'étalonnage éventuellement émis, doit contenir au moins les informations suivantes (voir le fascicule de documentation FD X 07-012) :

- identification de l'entreprise ;
- titre du document ;
- numéro d'identification du document ;
- identification du demandeur ;
- identification des éléments composant l'instrument à étalonner (constructeur, type, numéro de série, etc.) pour le capteur et pour l'indicateur ;
- configuration de l'instrument lors de l'étalonnage (bornes d'entrée de l'indicateur utilisée, etc.) ;
- date des mesures ;
- pagination, nombre de pages du document ;
- immersion du capteur à étalonner ;
- nom, titre et signature du (ou des) responsables de la fonction métrologique ;
- conditions d'environnement lors de l'étalonnage (paramètres ayant une influence sur les bilans d'incertitude, tels que : température, humidité, pression atmosphérique, etc.) ;
- résultats de mesure accompagnés des incertitudes associées ;
- les éléments permettant d'identifier la procédure utilisée ;
- la nature du milieu de comparaison (bain à liquide immobile ou à circulation, enceinte à air immobile ou à circulation, avec ou sans bloc d'égalisation, nature du bloc : métallique, alumine, etc.).

NOTE Lorsque l'utilisateur de l'instrument étalonné établit ses propres bilans d'incertitude il doit prendre en compte les différences éventuelles entre les conditions d'utilisation et les conditions spécifiées de l'étalonnage.

Pour des incertitudes d'utilisation recherchées inférieures à quelques centièmes de degrés, l'attention de l'utilisateur doit être attirée sur l'effet de l'auto-échauffement produit par le passage du courant de mesure dans la sonde intégrée dans la chaîne. Cet auto-échauffement dépend des conditions de couplage thermique entre la sonde et le milieu extérieur qui peuvent différer entre les conditions d'étalonnage et les conditions d'utilisation.

## 6 Étalonnage d'une sonde à résistance seule

L'élément sensible de ces sondes est constitué par un élément résistif (exemple : sonde à résistance de platine, thermistance, etc.). Cet élément est relié par des fils de liaison à un connecteur qui permet son raccordement électrique aux appareils de mesure.

### 6.1 Recommandations

#### 6.1.1 Exactitude de mesure courante

##### 6.1.1.1 *Recommandations relatives à l'étalon*

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 5.1.1.1.

##### 6.1.1.2 *Recommandations relatives au système utilisé pour mesurer la résistance électrique présentée par la sonde*

La résistance électrique présentée par la sonde peut être mesurée avec :

- un pont de mesure de résistance ;
- un ohmmètre ;
- un voltmètre, à condition que la valeur du courant traversant la sonde puisse être connue par ailleurs (ampèremètre ou résistance étalon intégrée dans le circuit).

Pour chaque instrument composant le système de mesure électrique (pont de mesure, ohmmètre, voltmètre, alimentation en courant, résistance étalon, etc.), les paramètres à prendre en compte pour l'évaluation de son incertitude sont :

- incertitude d'étalonnage ;
- périodicité de raccordement ;
- dérive entre deux raccordements ;
- incertitude liée à la fidélité ;
- auto-échauffement de la sonde dû au courant délivré par le système de mesure électrique ;
- incertitude liée aux conditions d'utilisation ;
- résolution ;
- etc.

Cette liste n'est pas exhaustive, des informations plus détaillées sont fournies dans le fascicule de documentation FD X 07-028.

Lorsqu'un scrutateur est inclus dans le système de mesure, celui-ci doit être périodiquement vérifié pour s'assurer que les résistances ou tensions parasites introduites dans le circuit de mesure sont compatibles avec l'incertitude finale recherchée.

#### **Remarques particulières :**

- 1) il est recommandé que le courant de mesure traversant une thermistance soit suffisamment faible pour que l'auto-échauffement soit négligeable. Par exemple, pour certain type de thermistance, l'utilisation d'un courant de 1 mA peut conduire à une erreur sur la détermination de la relation résistance/température équivalente à 0,3 °C ;
- 2) autant que possible les montages dits à «deux fils» sont à éliminer. Dans ce type de montage, la résistance des fils de ligne est incluse dans la résistance mesurée lors de l'étalonnage. La résistance des fils de ligne évolue en fonction de leur température et va donc nécessairement varier entre les conditions d'étalonnage et d'utilisation.

Le montage dit en «trois fils» peut être utilisé si certaines conditions sont respectées. Les trois fils de liaison utilisés doivent impérativement avoir la même longueur, le même diamètre et être de même nature.

Dans la mesure du possible le montage en «quatre fils» doit être employé.

**NOTE** Il faut prendre garde au montage lorsque l'indicateur présente une entrée en «trois fils» et que le capteur est monté en «quatre fils». Dans ce cas l'un des fils de liaison du capteur ne doit pas être connecté sur l'appareil, l'extrémité de ce fils doit être isolée et ne pas être utilisée. Inversement, si l'indicateur présente une entrée en «quatre fils» alors que le capteur est monté en «trois fils» l'étalonnage n'est pas possible. L'action qui consiste à shunter deux des entrées peut induire des erreurs considérables.

#### **6.1.1.3 Recommandations relatives au milieu de comparaison**

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 5.1.1.2.

#### **6.1.2 Meilleure exactitude de mesure**

##### **6.1.2.1 Recommandations relatives à l'étalon**

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 5.1.1.1. Elles doivent être complétées par un contrôle régulier de la stabilité de l'étalon entre deux raccordements externes. Pour cela l'opérateur peut :

- utiliser un point fixe de température (point de glace fondante par exemple) ;
- effectuer une comparaison directe entre deux étalons ayant la même résolution et possédant la même incertitude de raccordement aux étalons nationaux.

La périodicité du contrôle de la stabilité de l'étalon est fixée par l'opérateur en fonction des conditions d'utilisation de cet instrument (fréquence d'utilisation, domaine de température, condition d'environnement, etc.).

### **6.1.2.2** *Recommandations relatives au système utilisé pour mesurer la résistance électrique présentée par la sonde*

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 6.1.1.2.

### **6.1.2.3** *Recommandations relatives au milieu de comparaison*

Les recommandations sont identiques à celles du paragraphe 5.1.2.2.

## **6.2 Mode opératoire — Exactitude de mesure courante et meilleure exactitude de mesure**

Avant l'étalonnage certaines opérations préliminaires sont réalisées :

- examen visuel ;
- nettoyage du capteur. Cette opération doit être effectuée à chaque changement du milieu de comparaison ;
- si nécessaire, mesure de la résistance d'isolement au niveau du capteur.

Les modes opératoires sont analogues à ceux des paragraphes 5.2.1 (exactitude courante) et 5.2.2 (meilleure exactitude). Ils doivent être complétés par les indications suivantes :

- principe de mesure de la résistance électrique aux bornes de la sonde en étalonnage ;
- utilisation éventuelle d'un scrutateur de voies et durée de la scrutation ;
- courant de mesure traversant la sonde en étalonnage.

Pour des incertitudes d'utilisation recherchées de l'ordre de quelques centièmes, si les conditions d'échanges thermiques dans les milieux d'étalonnage et d'utilisation sont différentes, il faut en tenir compte par exemple en effectuant les étalonnages avec, au moins, deux valeurs différentes du courant électrique traversant l'élément sensible de la sonde en étalonnage. Cette procédure permet d'effectuer une extrapolation à courant nul et est répétée au moment de l'utilisation. Dans ce cas, le programme d'étalonnage doit inclure une étude de la variation de la résistance électrique présentée par la sonde en fonction du courant de mesure.

## **6.3 Évaluation de l'incertitude d'étalonnage**

La détermination de l'incertitude d'étalonnage respecte les recommandations du paragraphe 5.3. Toutefois l'alinéa c) devient :

«c) sonde à étalonner :

- câblage ;
- reproductibilité.

Les causes d'incertitude correspondant au système de mesure de la résistance électrique de la sonde en étalonnage doivent être intégrées :

- incertitude d'étalonnage ;
- dérive entre deux étalonnages ;
- résolution ;
- résistances ou tensions parasites liées à la connectique et au scrutateur de voie si nécessaire.

NOTE À défauts de données expérimentales, certaines composantes peuvent être appréciées à partir des données du constructeur.

### **REMARQUE**

Dans le cas où la meilleure exactitude de mesure est recherchée, il est nécessaire d'inclure une composante d'incertitude liée à l'auto-échauffement de la sonde en étalonnage.

Des informations plus détaillées sont fournies dans le fascicule de documentation FD X 07-028. Les différentes causes d'incertitude ci-dessus sont listées de manière non exhaustive.



## 6.4 Présentation des résultats

### 6.4.1 Feuille de mesure

Le contenu de la feuille de mesure est identique à celui du paragraphe 5.4.1 complété par les informations suivantes :

- identification des instruments intégrés dans le système de mesure de la résistance électrique de la sonde en étalonnage ;
- courant électrique traversant la sonde en étalonnage.

### 6.4.2 Certificat d'étalonnage

Le contenu du certificat d'étalonnage est identique à celui présenté au paragraphe 5.4.2 complété par les informations suivantes :

- nature précise du capteur ;
- courant de mesure traversant la sonde en étalonnage (valeur et nature : alternatif, continu, etc.) ;
- nature du milieu de comparaison (bain à liquide immobile ou à circulation, enceinte à air immobile ou à circulation, avec ou sans bloc d'égalisation, nature du bloc : métallique, alumine, etc.).

## REMARQUE

Pour des incertitudes recherchées inférieures à quelques centièmes de degrés et dans la mesure où l'instrument le permet, il faut caractériser l'auto-échauffement dans les différents milieux de comparaison mis en œuvre lors de l'étalonnage et reporter cette information dans le certificat d'étalonnage.

## 7 Vérification

La vérification permet de s'assurer que l'écart entre l'indication fournie par l'instrument à vérifier et l'indication procurée par l'instrument étalon est toujours inférieure aux erreurs maximales tolérées. Celles-ci sont définies par l'utilisateur de l'instrument à vérifier en fonction de ses besoins et peuvent reposer sur l'application d'une prescription spécifique, d'une norme ou d'un texte réglementaire. Lorsqu'il s'agit d'une prescription spécifique, elles peuvent être issues d'un accord client-fournisseur.

Dans le domaine spécifique des mesures de température, effectuer une vérification revient à comparer les résultats d'une opération d'étalonnage aux erreurs maximales tolérées. Une vérification fait donc nécessairement suite à une opération d'étalonnage. Pour mettre en œuvre cette opération, se reporter au chapitre précédent.

### 7.1 Vérification d'une chaîne de mesure ou d'une sonde seule

#### 7.1.1 Programme de vérification

Selon le domaine de mesurage que l'on cherche à vérifier, le programme de vérification intègre un nombre de points d'étalonnage suffisant pour obtenir un ensemble représentatif du comportement de l'instrument.

Si l'utilisation de l'instrument est réservée à une valeur ponctuelle de température, la vérification peut être effectuée uniquement en ce point.

Si l'utilisation de l'instrument concerne un domaine de température, le nombre de points d'étalonnage doit être déterminé en fonction de nombreux paramètres : étendue du domaine d'utilisation, critère d'acceptation, conditions d'utilisation, caractéristiques de l'instrument à vérifier, etc. Au minimum, le nombre de points d'étalonnage doit être compris entre deux et quatre. Il doit être augmenté en fonction des paramètres décrits ci-dessus. Il est également recommandé de placer les points d'étalonnage en début et en fin de gamme avec des points intermédiaires également répartis.

Si le domaine de température sur lequel porte la vérification comprend la valeur 0 °C, il est conseillé d'inclure dans le programme de vérification un point d'étalonnage à cette température ou à la température la plus proche réalisable en fonction des moyens expérimentaux dont dispose l'entreprise.

## **7.1.2 Présentation des résultats**

### **7.1.2.1 Feuille de mesure**

La feuille de mesure doit comporter les mêmes renseignements administratifs et techniques que ceux contenus dans la feuille de mesure relative à l'étalonnage (voir les paragraphes **5.4.1** et **6.4.1**). Dans le cas d'une vérification, la feuille de mesure doit en outre inclure :

- les valeurs des erreurs maximales tolérées ;
- la référence du texte reconnu ayant servi de support au programme technique de vérification, s'il existe ;
- ou, si ce programme technique a été établi dans le cadre d'une relation contractuelle client-fournisseur, une référence à cette relation contractuelle ;
- les opérations ayant conduit à établir le jugement de conformité.

### **7.1.2.2 Constat de vérification**

Dans le constat de vérification, rédigé conformément au fascicule de documentation X 07-011, les informations techniques suivantes doivent apparaître :

- immersion de la sonde ;
- milieu de comparaison ;
- courant de mesure traversant la sonde (valeur et nature) pour la vérification d'une sonde seule ;
- domaine de température pour lequel le jugement de conformité a été porté.

## Bibliographie

Monographie BNM n° 14, *Techniques simplifiées permettant d'approcher l'Échelle Internationale de Température de 1990*.